

RAPPORT 1059-1

CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES A BANDE LATÉRALE UNIQUE
EN RADIODIFFUSION A ONDES DÉCAMÉTRIQUES

(Question 44/10)

(1986-1990)

1. Introduction

Le présent Rapport a été établi pour tenir compte du fait qu'on envisage actuellement la mise en œuvre progressive de systèmes de radiodiffusion à bande latérale unique dans les bandes présentement attribuées au service de radiodiffusion en ondes décimétriques. L'introduction de cette forme de radiodiffusion pourra s'effectuer de façon plus rationnelle si on dispose d'indications suffisantes sur les paramètres techniques qui entrent en jeu. Les considérations qui suivent portent exclusivement sur la modulation d'amplitude à bande latérale unique avec démodulation synchrone. Pour ce qui est d'une période transitoire nécessaire au passage des systèmes DBL aux systèmes BLU, il faut tenir compte également de la réception des signaux BLU à porteuse réduite par des récepteurs fonctionnant avec détection d'enveloppe. Au terme de la période transitoire, on pourrait bénéficier de tous les avantages des émissions BLU, à savoir:

- utilisation plus efficace du spectre des fréquences et réduction des brouillages;
- possibilité d'améliorer le rapport de protection nécessaire entre canaux adjacents, si la réduction de la porteuse est suffisante;
- possibilité d'améliorer la qualité de réception, en particulier quand les conditions de propagation sont médiocres (évanouissements sélectifs), avec des récepteurs BLU.

Les techniques de modulation considérées comme convenant le mieux pour réaliser des économies dans l'occupation du spectre sont celles qui utilisent un système à bande latérale unique. Dans la Recommandation 501 de la CAMR-79 et au numéro 302 du Règlement des radiocommunications, il est proposé d'utiliser, dans toute la mesure possible, les émissions BLU dans les systèmes à modulation d'amplitude. Il existe deux systèmes de ce genre, à savoir la bande latérale unique (BLU) et la bande latérale unique compatible (BLUC).

Ce dernier système ne convient pas en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude, surtout du fait qu'il augmente la distorsion. De plus, la bande nécessaire en radiofréquence est plus importante et une élimination satisfaisante des émissions hors bande serait probablement difficile en B.dam.

En cas d'introduction de la bande latérale unique pour la radiodiffusion en modulation d'amplitude, il semblerait souhaitable d'utiliser les définitions qui figurent dans la Recommandation 326.

D'après cette Recommandation, la valeur de l'onde porteuse est indiquée par rapport à la puissance en crête de modulation P_p de l'émission, la puissance en crête P_p d'un émetteur étant déterminée par le niveau d'intermodulation acceptable D_n .

Pour les émetteurs de radiodiffusion à bande latérale unique, le niveau acceptable d'intermodulation D_n détermine les distorsions non linéaires (qualité) et le rayonnement hors bande (brouillage dans le canal adjacent).

Dans les systèmes à bande latérale unique avec porteuse réduite, la précision de la porteuse reconstituée localement est importante pour la qualité de la réception.

Les caractéristiques d'un futur système à bande latérale unique pour la radiodiffusion sonore dans la bande 7 (ondes décimétriques) doivent être choisies de façon à tenir compte des différentes spécifications de la période de transition (réception des signaux à bande latérale unique avec des récepteurs utilisant la démodulation d'enveloppe) ainsi que de celles de la période suivante, pendant laquelle on utilisera seulement des récepteurs avec démodulation synchrone [CCIR, 1978-82a]. — Les spécifications du système à bande latérale unique figurent dans la Recommandation 640.

2. Caractéristiques techniques fondamentales des systèmes de radiodiffusion à bande latérale unique

2.1 Nature de la modulation en bande latérale unique (BLU)

Lorsque l'on parle de systèmes à bande latérale unique (BLU), on suppose souvent que le signal émis est modulé en amplitude (MA), alors qu'en fait, il s'agit d'un signal composite, modulé à la fois en amplitude et en phase. Les deux composantes de modulation contiennent les mêmes informations mais sont déphasées de 90°. Les informations d'amplitude et de phase peuvent être récupérées séparément au moyen d'un détecteur synchrone verrouillé en phase sur la porteuse reçue. Lorsque la porteuse reconstituée est en phase avec la porteuse reçue, on récupère la modulation d'amplitude. En revanche, lorsque la phase de la porteuse reconstituée est décalée de 90° par rapport à la porteuse reçue, on récupère l'information de phase.

Pour les raisons qui précèdent, on peut conclure:

- qu'il est difficile d'assurer des services additionnels (données, etc.) au moyen d'une modulation de phase additionnelle dans un signal BLU;
- que par rapport à une émission en double bande latérale, une émission en BLU est moins affectée par les évanouissements sélectifs. Cette amélioration de la qualité de service tient à ce que le niveau de la porteuse reconstituée est constant, et au fait que le comportement du détecteur synchrone n'est pas perturbé par les variations de phase de la porteuse reçue (pendant les périodes d'évanouissement sélectif) puisque l'on détecte indifféremment à partir de la composante de phase ou de la composante d'amplitude du signal BLU.

2.2 Puissance de crête

La puissance nominale d'un émetteur BLU est sa puissance de crête, qui correspond à la puissance moyenne obtenue en crête à 100% de modulation. Ce paramètre est donc difficile à mesurer avec un puissance-mètre thermique connecté à une charge fictive, à moins que le signal reçu à l'entrée ne soit sinusoïdal.

2.3 Relations entre la puissance de la bande latérale et celle de la porteuse dans les systèmes DBL et BLU*

La puissance de la bande latérale P_s d'un émetteur dépend de sa puissance en crête P_p et de la réduction de la porteuse, a .

Dans le cas d'un émetteur de radiodiffusion BLU, la valeur appropriée de a sera déterminée essentiellement par la nécessité de reconstituer la porteuse dans le récepteur de radiodiffusion BLU peu onéreux. Pour reconstituer la porteuse de référence pour le démodulateur synchrone moyennant un faible coût, les réductions de portuses devront être limitées à une valeur comprise entre 6 et 12 dB.

* Selon le Règlement des radiocommunications (voir aussi la Recommandation 326) les termes suivants devraient être utilisés pour la puissance:

- puissance en crête de modulation (PX)
- puissance moyenne (PY)
- puissance de la porteuse (PZ)

Pour permettre une présentation uniforme dans ce Rapport, qui contient un grand nombre d'autres termes concernant la puissance et la tension, des termes suivants, différents de ceux préconisés par le Règlement des radiocommunications et dans la Recommandation 326, sont utilisés:

$$\begin{aligned} PX &= P_p \\ PY &= P_m \\ PZ &= P_c \end{aligned}$$

La Fig. 1 montre la relation entre la puissance P_s et la réduction, a , pour une valeur donnée de P_p . Dans cette figure, (1) désigne le cas de la modulation par un signal sinusoïdal et (2) le cas de la modulation par programme ou par bruit. Les valeurs de U et de P sont exprimées en pourcentages de leurs valeurs de crête. En cas de modulation par programme et avec une réduction de porteuse d'au moins 30 dB, la puissance P_s (2) sera d'environ 10% de P_p . Un émetteur fonctionnant avec une réduction de porteuse de 6 dB ne peut, lorsqu'il est modulé par un signal de radiodiffusion, rayonner qu'une puissance de bande latérale P_s (2) d'environ 2,5% de sa puissance nominale en crête.

Pour le calcul de P_s (2), on a admis que le rapport de la puissance moyenne à la puissance en crête est de 0,1 (voir la Recommandation 326, Tableau I).

2.4 Puissance équivalente de la bande latérale

Pour remplacer un émetteur de radiodiffusion sonore DBL (puissance de la porteuse: P_c) dans la bande 7 (ondes décimétriques) par un émetteur BLU équivalent, la puissance de bande latérale de l'émetteur BLU doit être le double de la somme des puissances des deux bandes latérales d'un émetteur DBL. Cette condition est justifiée au moins pendant la période de transition, les émissions BLU devant aussi être reçues par des récepteurs DBL ayant une largeur de bande égale à $2B_N$, deux fois plus large qu'il n'est nécessaire pour recevoir l'émission BLU et aussi parce que la couverture de la zone à couvrir doit être la même.

Après la période de transition, lorsqu'on utilise seulement des récepteurs avec démodulation synchrone et la moitié de la largeur de bande d'un récepteur DBL, la puissance de la bande latérale de tous les émetteurs BLU devrait théoriquement pouvoir être réduite à la moitié de sa valeur originale. Toutefois, le rapport signal/bruit à la sortie du récepteur ne changera pas si le spectre causant des brouillages dans le même canal ou dans le canal adjacent à l'intérieur de la bande passante du récepteur a une densité de puissance uniforme. Cette condition n'est pas respectée dans la pratique du fait de la présence d'une porteuse et de la distribution inégale de puissance dans le spectre des émissions de radiodiffusion sonore [Gröschel, 1978].

C'est pourquoi, la formule suivante peut mieux convenir pour exprimer la puissance équivalente de la bande latérale P_s des futurs émetteurs BLU de radiodiffusion sonore à ondes décimétriques:

$$P_s (\text{BLU}) \approx (1 \text{ à } 2) \times P_s (\text{DBL})$$

Un facteur plus proche de 2 pourrait être réaliste.

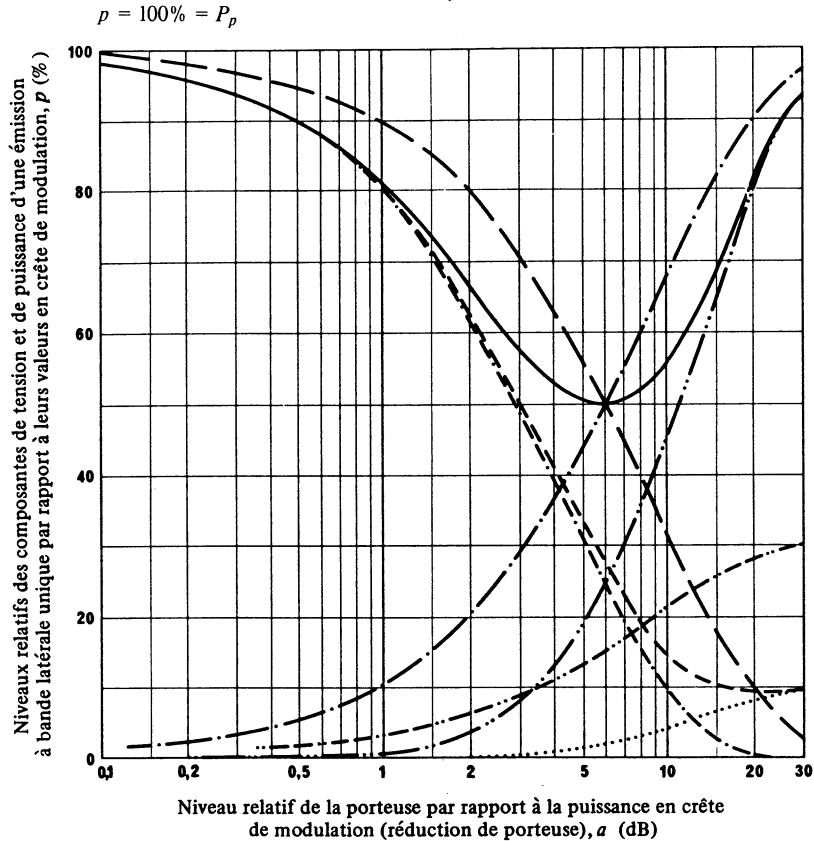


FIGURE 1

- : P_p : puissance en crête de l'émetteur (définie par le niveau d'intermodulation acceptable D_n)
- — — : U_c : tension de la porteuse (valeur efficace)
- · — · — : U_s (1) : niveau du signal de la bande latérale dans le cas de modulation par un signal sinusoïdal (valeur efficace)
- — · — · : U_s (2) : niveau du signal de la bande latérale dans le cas de modulation par programme ou par bruit (valeur efficace)
- · — · — · : P_c : puissance de la porteuse
- — · — · : P_s (1) : puissance de la bande latérale dans le cas de modulation par un signal sinusoïdal
- · · · · : P_s (2) : puissance de la bande latérale dans le cas de modulation par programme ou par bruit
- — — : P_m (1) : puissance moyenne de l'émetteur dans le cas de modulation par un signal sinusoïdal
- · — · — · : P_m (2) : puissance moyenne de l'émetteur dans le cas d'une modulation par programme ou par bruit

La Fig. 2 donne de plus amples détails sur la puissance en crête de modulation nécessaire pour les futurs émetteurs BLU destinés à remplacer les actuels émetteurs DBL en radiodiffusion sonore à ondes décimétriques. Pendant la période transitoire, les conditions spéciales de réception imposeront une puissance en crête de modulation de l'émetteur qui sera environ 4 fois plus élevée qu'après la période transitoire [CCIR, 1978-82a].

La CAMR HFBC(1987) définit de la manière suivante la puissance équivalente de la bande latérale:

Lorsque l'affaiblissement de la porteuse, par rapport à la puissance de crête, est de 6 dB, une émission BLU équivalente est celle qui donne le même rapport signal audiofréquence/bruit à la sortie du récepteur que l'émission DBL correspondante quand elle est reçue avec un récepteur DBL à détection d'enveloppe. C'est ce qui se produit lorsque la puissance de la bande latérale de l'émission BLU est de 3 dB supérieure à la puissance totale des bandes latérales de l'émission DBL. (La puissance de crête de l'émission BLU équivalente ainsi que la puissance porteuse sont les mêmes que celles de l'émission DBL.)

2.5 Comparaison entre les consommations d'énergie d'émetteurs DBL et BLU équivalents

En dehors d'une meilleure utilisation du spectre, un des buts de la modulation BLU en radiodiffusion à B.dam est une réduction substantielle de la consommation d'énergie des émetteurs. Les économies optimales seront possibles lorsque les récepteurs BLU (à bande passante moitié de celle des modèles DBL) seront d'usage courant. Ceci permettra de modifier de -6 à -12 dB le niveau de la porteuse.

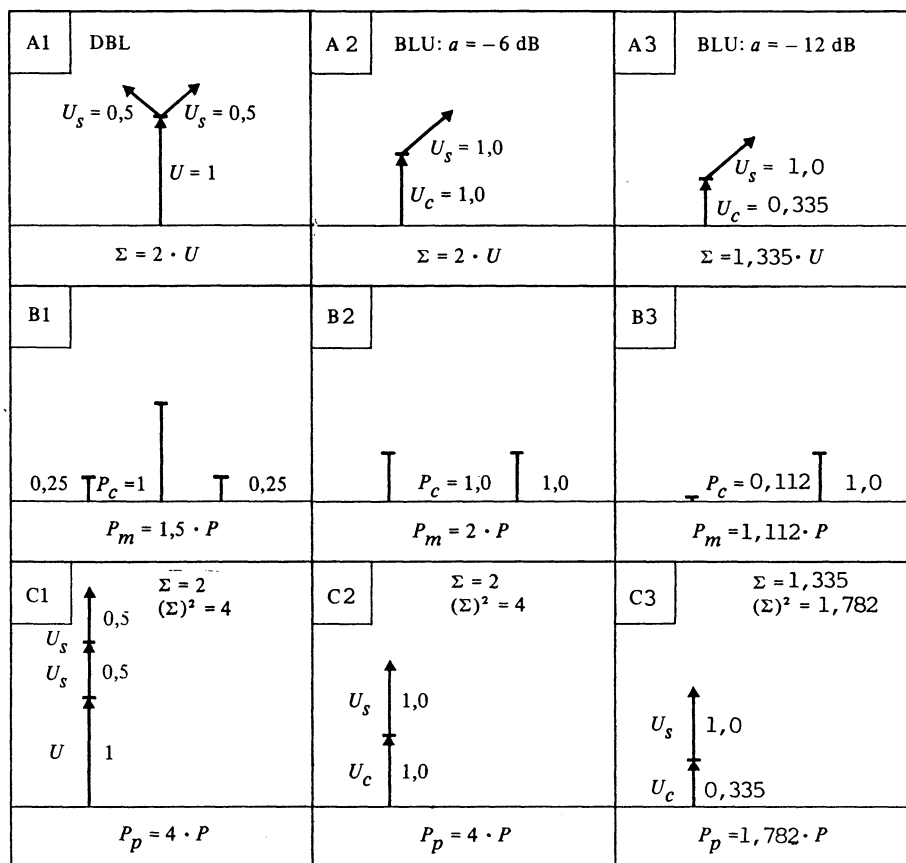


FIGURE 2 – Relation entre les niveaux et les puissances de la porteuse et de la bande latérale d'émissions DBL et BLU en fonction de la réduction de la porteuse

(Pour établir la comparaison, on a pris pour unité la puissance de la porteuse et le niveau de l'émetteur DBL. Modulation complète avec un seul signal sinusoïdal; $P_S(\text{BLU}) = 2 \times P_S(\text{DBL})$)

A1...A3: niveau des composantes spectrales (à la sortie de l'émetteur)

B1...B3: puissance de sortie moyenne de l'émetteur

C1...C3: puissance en crête à la sortie de l'émetteur

Indice 1: signal DBL

Indice 2: signal BLU, réduction de la porteuse: -6 dB (classe d'émission H3E)

Indice 3: signal BLU, réduction de la porteuse: -12 dB (classe d'émission R3E)

U : niveau de la porteuse de l'émetteur DBL

U_s : niveau des bandes latérales

U_c : niveau de la porteuse de l'émetteur BLU

P : puissance de la porteuse de l'émetteur DBL

P_c : puissance de la porteuse de l'émetteur BLU

P_m : puissance moyenne

P_p : puissance en crête de modulation

On a calculé les résultats présentés aux Tableaux I et II et qui donnent des valeurs représentatives de la consommation d'énergie d'émetteurs DBL et BLU ayant des puissances équivalentes dans les bandes latérales, en se basant sur l'hypothèse d'un taux de modulation effectif de 40%, valeur obtenue en comprimant fortement le signal modulant.

La comparaison est basée sur un rendement global de 60% pour les émetteurs DBL et de 38% ou 60% pour les émetteurs BLU. Ces valeurs ont été établies à partir d'émetteurs BLU en B.hm actuellement utilisés. Dans ce cas, un émetteur BLU dont la porteuse a été réduite, par exemple de 12 dB et dont la puissance dans la bande latérale est égale à la puissance dans les 2 bandes latérales de l'émetteur DBL, consommera respectivement environ 40% et 25% de l'énergie absorbée par un émetteur DBL (les conditions indiquées à la Figure 2 sont appliquées).

Pendant la période transitoire où l'on doit considérer que la réception se fera avec des récepteurs DBL, une réduction de la porteuse de 6 dB est recommandée. Dans ce cas, un émetteur BLU ayant une puissance double dans la bande latérale consomme respectivement environ 70% et 7% d'énergie en plus que l'émetteur DBL (voir Tableau II).

TABLEAU I - Rapports de puissances de sortie

Réduction de la porteuse	Modulation sinusoïdale $m_{eff} = 100\%$	Modulation par un programme $m_{eff} = 40\%$
6 dB	2,0	1,16
12 dB	1,11	0,27

Puissance de sortie moyenne d'un émetteur BLU par rapport à la puissance de la porteuse en DBL ($m = 100\%$, conditions de la Figure 2).

TABLEAU II - Rapports de consommations électriques

Réduction de la porteuse	Modulation sinusoïdale $m_{eff} = 100\%$		Modulation par un programme $m_{eff} = 40\%$	
	Rendement BLU 38%	Rendement BLU 60%	Rendement BLU 38%	Rendement BLU 60%
6 dB	2,11	1,33	1,70	1,07
12 dB	1,17	0,74	0,40	0,25

Consommation électrique d'un émetteur BLU comparée à celle d'un émetteur DBL. Rendement BLU 60% ($m = 100\%$, conditions de la Figure 2).

2.6 Réduction de la porteuse

La réduction de la porteuse d'un signal BLU détermine la distorsion non linéaire supplémentaire qui se produit lorsque ce signal est démodulé par démodulation d'enveloppe dans un récepteur DBL classique. Cette distorsion supplémentaire dépend à la fois de la réduction de la porteuse a et du taux de modulation. Du fait de cette distorsion supplémentaire prévue pendant la période de transition, la réduction de la porteuse doit donc être au plus égale à -6 dB par rapport à la puissance en crête (classe d'émission H3E). Cette conclusion a été confirmée par un essai de compatibilité de réception effectué en vraie grandeur au Japon, à une distance de 2000 km de l'emplacement d'émission. On a procédé à l'évaluation subjective de la dégradation par distorsion des programmes BLU reçus par rapport aux programmes DBL reçus, selon l'échelle de dégradation à cinq notes de la Recommandation 562. Les résultats sont indiqués sur la Fig. 3.

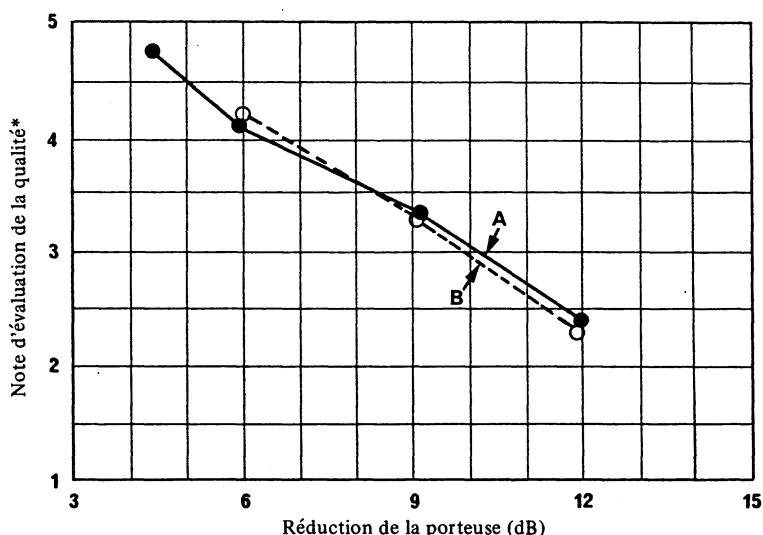


FIGURE 3 – Evaluation faite lors de l'essai de réception utilisant des récepteurs DBL classiques pour un système BLU

A: Parole
B: Musique légère

* Voir le Tableau I de la Recommandation 562.

Pour une réduction de 6 dB de la porteuse, la dégradation moyenne des signaux BLU reproduits, par rapport aux signaux DBL, a été légèrement supérieure à la note 4 [CCIR, 1982-86a].

Dans ce cas, la distorsion d'intermodulation est prépondérante. Sa valeur est atteinte après une période suffisamment longue de modulation complète. Dans la pratique, avec un taux de modulation de l'ordre de 35 à 45%, cette distorsion est plus faible.

2.7 Niveau d'intermodulation admissible dans les émetteurs BLU

La valeur admissible de l'affaiblissement d'intermodulation D_N dépend en grande partie de la qualité d'émission exigée en ce qui concerne la distorsion non linéaire. Des considérations théoriques fondées sur un modèle mathématique du calcul des brouillages par le canal adjacent dans les systèmes BLU [Gröschel, 1978] montrent que pour les brouillages par le canal adjacent, il n'est pas nécessaire que l'affaiblissement d'intermodulation D_N des émetteurs de radiodiffusion BLU dépasse 20 à 25 dB. Dans le futur système BLU, le niveau d'intermodulation admissible doit donc être déterminé en fonction de la qualité désirée du signal reçu. Une gamme de $D_N = 26$ dB (distorsion harmonique: $\approx 6,5\%$) à $D_N = 35$ dB (distorsion harmonique: $\approx 2,3\%$) semble correcte pour les futurs émetteurs de radiodiffusion sonore BLU selon le type de programme généralement diffusé (programme parlé, musique).



2.8 Démodulation

Les signaux modulés en amplitude peuvent être détectés à l'aide de deux méthodes: celle de la détection d'enveloppe classique ou celle de la combinaison du signal d'entrée avec une porteuse à injection générée au niveau interne. Le détecteur d'enveloppe utilise une rectification de crête qui suit avec précision l'enveloppe de la forme d'onde modulée.

Dans la méthode de la combinaison, la fréquence de la porteuse insérée au niveau interne doit être égale à celle de la porteuse du signal BLU ou DBL entrant, auquel cas l'information de bande latérale RF sera transférée dans la gamme audio. La démodulation par combinaison est normalement appelée démodulation de produit. Lorsque la fréquence de la porteuse insérée est presque la même que celle de la porteuse entrante, la démodulation est appelée démodulation de produit. Si ces porteuses sont verrouillées en phase l'une à l'autre, la démodulation est appelée démodulation synchrone ou cohérente.

Les signaux DBL (A3E) ou DBL avec niveau de porteuse changeant peuvent être détectés par démodulation d'enveloppe ou démodulation synchrone.

La démodulation de produit est possible seulement avec un récepteur BLU, dans le cas où l'autre bande latérale et la porteuse sont annulées ou supprimées par filtrage avant la démodulation.

Les signaux BLU (H3E, R3E) peuvent être démodulés par démodulation de produit ou démodulation synchrone. La démodulation d'enveloppe est possible avec les signaux BLU H3E (-6dB). La qualité audio obtenue est cependant marginale et l'utilisation de cette méthode doit donc être envisagée seulement pendant la période de transition avec les anciens récepteurs.

La démodulation synchrone présente les avantages suivants par rapport à la démodulation de produit:

- la fonction de verrouillage entraîne des conditions moins strictes de stabilité de fréquence dans les oscillateurs de récepteur;
- le réglage correct est plus facile à faire pour des opérateurs non spécialisés;
- elle permet la détection des émissions à la fois A3E et BLU;
- elle est moins sensible aux émetteurs réglés aux limites (conversion MA-MP).

En ce qui concerne les avantages énumérés ci-dessus, la démodulation synchrone devrait être recommandée pour les nouveaux modèles de récepteurs comme démodulation type et les paramètres de système devraient être fondés sur ce principe.

2.9 Influence des évanouissements sélectifs sur les systèmes de démodulation

La radiodiffusion à ondes décimétriques est fondée presque exclusivement sur la couverture par l'onde ionosphérique. En raison des évanouissements sélectifs, la réception des signaux par onde ionosphérique, avec modulation à double bande latérale (DBL) et avec démodulation d'enveloppe linéaire au récepteur, subit une forte dégradation de qualité due à la distorsion non linéaire. Cette dégradation peut en grande partie être évitée lorsqu'on utilise la démodulation synchrone ou de produit (voir également les § 2.1 et 2.8).

Des essais de transmission effectués dans la bande hectométrique (bande 6) à l'aide d'une modulation sinusoïdale (800 Hz) ont été analysés afin de déterminer la distorsion non linéaire se produisant avec la démodulation d'enveloppe (A3E) et avec la démodulation synchrone (R3E).

Ces résultats, représentés à la Fig. 4, montrent clairement que la distorsion non linéaire due aux effets de la propagation ionosphérique, tels que les évanouissements sélectifs, peut être notablement réduite par la démodulation synchrone dans le récepteur. L'amélioration est possible, même avec les émissions de classe A3E, si la démodulation synchrone est utilisée. Aucune amélioration ne peut cependant être apportée aux émissions à bande latérale unique compatible [CCIR, 1978-82b].

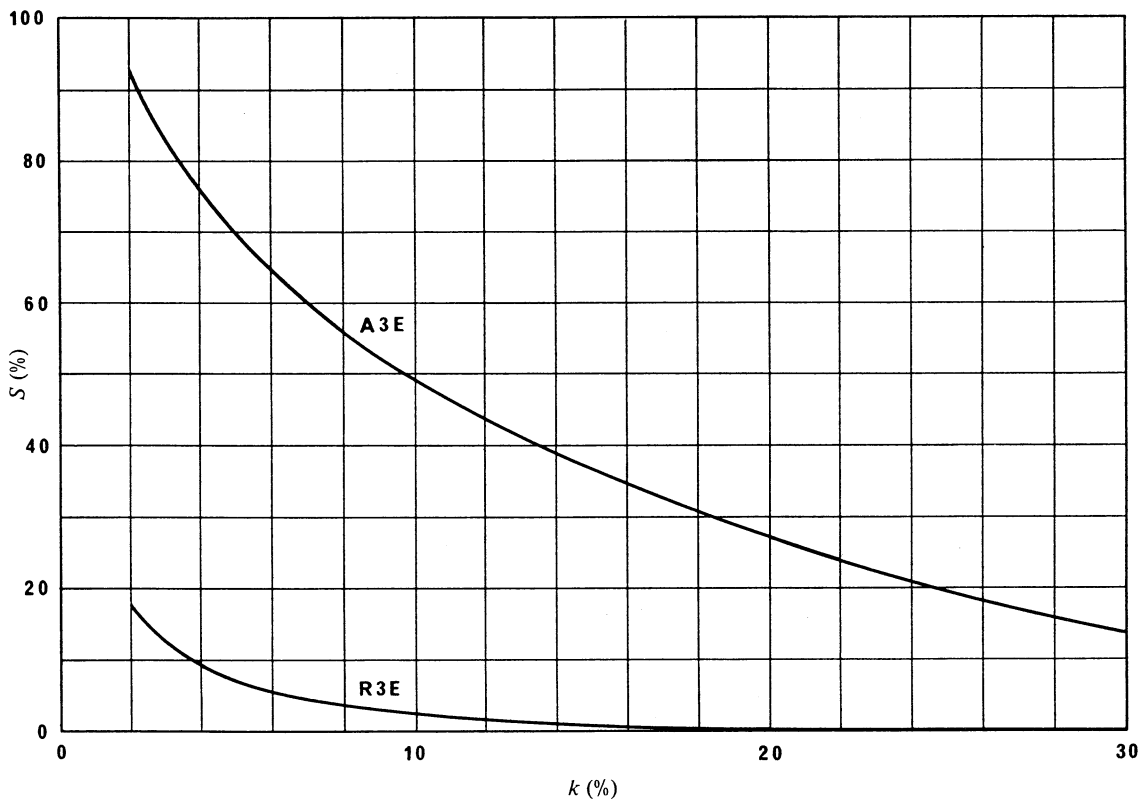


FIGURE 4 - Probabilité cumulative (S) de la distorsion non linéaire (k), moyenne établie sur l'ensemble de la période de mesure. Comparaison entre la démodulation d'enveloppe (A3E) et la démodulation synchrone (R3E)

2.10 Précision de la porteuse reconstituée localement dans un récepteur BLU

Dans les systèmes à bande latérale unique à porteuse réduite, la précision de la porteuse reconstituée localement est importante pour la qualité de réception. Des essais subjectifs poussés (essais d'écoute) indiquent [Thiessen, 1973] une superposition des effets de la distorsion non linéaire et de l'imprécision de la porteuse reconstituée que l'on peut exprimer par:

$$\Delta Q = (k_2/10\%)^2 + (k_3/6\%)^2 + (\Delta f/12 \text{ Hz})^2 \quad (1)$$

où

ΔQ : dégradation de la qualité selon une échelle à 6 notes;

k_2, k_3 : facteurs de distorsion du deuxième et du troisième harmoniques;

Δf : erreur de fréquence, (Hz), de la porteuse reconstituée.

On a constaté qu'une valeur maximale $\Delta Q_{max} = 0,25$ était tout juste tolérable. On pourrait accepter les valeurs $k_2 = 2,9\%$, $k_3 = 1,7\%$ et $\Delta f = 3,5$ Hz, à condition d'admettre que les effets perturbateurs sont uniformément répartis.

2.11 Autres facteurs dont il faut tenir compte

2.11.1 La même bande latérale (supérieure ou inférieure) doit être supprimée dans chacune des bandes de radiodiffusion. D'après les recherches actuelles sur la technologie des filtres à fréquence intermédiaire et à audiofréquence, la suppression de la bande latérale inférieure apparaît préférable. Il est donc proposé que, pour la radiodiffusion, la bande latérale supérieure contienne le signal audiofréquence complet.

2.11.2 La réduction de la porteuse ne doit pas dépasser 12 dB. Cela a été confirmé, du point de vue du fonctionnement d'un récepteur BLU, par un essai de réception effectué en vraie grandeur au Japon à une distance de 2000 km de l'emplacement d'émission et en utilisant des récepteurs BLU expérimentaux, réalisés par incorporation de détecteurs synchrones dans des récepteurs en ondes décimétriques courants du commerce.

La Fig. 5 montre les résultats de l'évaluation subjective du son reproduit par les récepteurs BLU expérimentaux, selon l'échelle de dégradation à sept notes de la Recommandation 562, par rapport à des récepteurs DBL à détection d'enveloppe.

La qualité de réception des signaux BLU était plus mauvaise que celle des signaux DBL lorsque la réduction de la porteuse dépassait 12 dB du fait d'une forte distorsion dans le récepteur BLU causée par la difficulté d'extraction correcte de la porteuse.

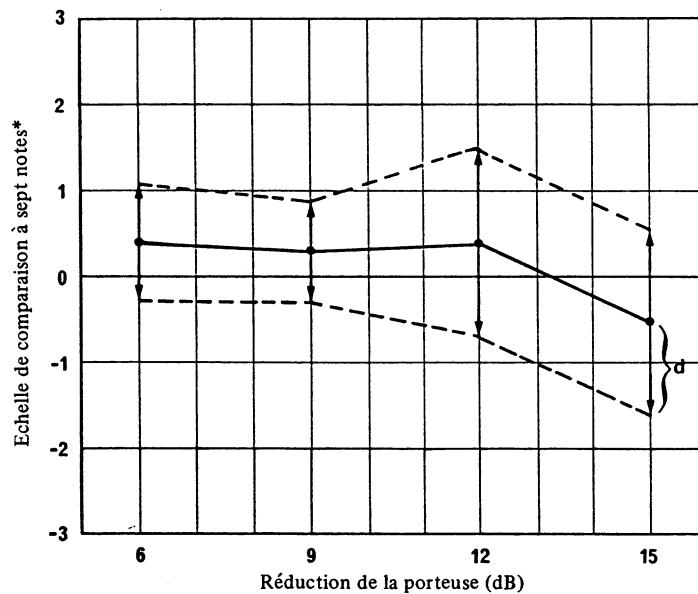


FIGURE 5 – Evaluation lors de l'essai de réception utilisant le récepteur expérimental de radiodiffusion BLU

d : écart type

* Voir le Tableau II de la Recommandation 562.

2.11.3 La largeur de bande audiofréquence à l'émission doit être adaptée à l'espacement des porteuses. (La largeur de bande ne peut pas être précisée; le rapport entre celle-ci et l'espacement des porteuses pourrait très bien s'approcher de l'unité.)

3. Période transitoire

1987	31.12.90	2000	31.12.2015
Début de la période transitoire	Les nouveaux émetteurs devraient pouvoir fonctionner en BLU	Dernier examen de la date définitive pour l'introduction de la BLU	Fin de la période transitoire, BLU avec réduction de la porteuse de 12 dB
BLU: réduction de la porteuse de 6 dB	Un récepteur bon marché doit être doté de la démodulation synchrone Examen de la date définitive de fin d'utilisation de la DBL		

FIGURE 6 - Organisation de la période transitoire entre la DBL et la BLU

Au cours de la période transitoire qui est représentée sur la Figure 6, les émissions à bande latérale unique seront surtout captées par des récepteurs DBL classiques utilisant la détection d'enveloppe. Si l'on veut éviter une détérioration excessive de la qualité de réception, les émetteurs BLU devront fonctionner avec une réduction de porteuse ne dépassant pas 6 dB, ce qui aura par ailleurs des conséquences sur la puissance de sortie nécessaire des émetteurs BLU si l'on veut obtenir le même niveau sonore. Pour obtenir, en BLU et en DBL, le même niveau sonore avec un récepteur DBL classique à détection d'enveloppe, la puissance de la bande latérale de l'émission BLU devra être supérieure de 3 dB à la puissance totale des bandes latérales de l'émission DBL. S'il n'est pas possible d'accroître la puissance de la bande latérale de l'émission BLU, il faudra admettre une diminution de la zone de couverture. Une façon de réduire cet inconvénient consiste à grouper les émissions BLU.

La possibilité de convertir les émetteurs DBL pour les faire fonctionner en BLU est décrite au § 5.3.

3.1 *Examen des problèmes de compatibilité lors de l'introduction du système BLU proposé*

L'un des principaux problèmes de la mise en oeuvre des émissions BLU en radiodiffusion B.dam tient au fait que la plupart des auditeurs ne disposeront pas encore de récepteurs BLU. Il en résulte que, pendant une période transitoire, les émissions de ce type devront être reçues dans de bonnes conditions au moyen de récepteurs classiques à détection d'enveloppe. Parmi les facteurs influant sur la compatibilité (par exemple, la bande passante audio et le taux de compression), les plus importants sont le niveau de réduction de la porteuse et la puissance des bandes latérales. La qualité de réception dépend non seulement des caractéristiques de l'émission, mais aussi du type de récepteur utilisé et de son accord, ainsi que des caractéristiques de propagation, comme la nature et l'intensité des évanouissements.

3.2 *Récepteurs BLU*

La CAMR HFBC-87 a décidé d'encourager la mise en oeuvre immédiate des émissions en BLU et a approuvé la procédure relative au passage des émissions DBL aux émissions BLU (Résolution N° 517 de la CAMR HFBC-87). Du point de vue de l'évolution des récepteurs, cette décision a les conséquences suivantes:

- Les récepteurs classiques utilisant uniquement la détection d'enveloppe ne devraient plus être construits.

- Les nouveaux récepteurs à utiliser pendant la période transitoire et au-delà devront être équipés d'un démodulateur synchrone faisant appel, pour l'acquisition de la porteuse, à un dispositif de régénération de celle-ci au moyen d'une boucle de commande verrouillant en phase le récepteur sur la porteuse entrante. Les récepteurs de ce genre devraient fonctionner aussi bien avec des émissions DBL classiques qu'avec des émissions BLU dont la porteuse serait réduite de 6 ou 12 dB par rapport à la puissance en crête.

Les trois principales raisons de recommander ces démodulateurs synchrones sont les suivantes:

- Ils permettent de mettre en œuvre les techniques BLU qui utilisent moins de bande, sans rendre l'accord plus délicat.
- Ils permettent de recevoir les émissions DBL et BLU avec une réduction de porteuse de 6 ou 12 dB.
- En présence d'évanouissements sélectifs, ils présentent moins de distorsion que les récepteurs actuels à détection d'enveloppe.

Pour obtenir la meilleure qualité de réception que permet la BLU, il faudra que les nouveaux récepteurs BLU aient une largeur de bande AF d'environ 4 kHz et une sélectivité nettement améliorée, avec un affaiblissement de l'ordre de 35 dB/kHz, ce qu'on obtient couramment à l'aide des filtres céramiques FI modernes. Une sélectivité un peu moins bonne n'est pas exclue, mais elle se soldera par une largeur de bande audio inférieure.

3.3 *Rapports de protection en radiofréquence pendant la période transitoire entre la DBL et la BLU*

Dans l'exposé suivant, on suppose que la bande passante de l'émetteur est de 4,5 kHz (Annexe I à la Recommandation 639), que les flancs de sa bande passante présentent un affaiblissement de 40 dB/kHz, que le signal modulant subit une forte compression (Recommandation 560) et que, en BLU, la porteuse est réduite de 6 dB et qu'il est fait usage de la bande latérale supérieure.

Cette forte compression audio donnera un taux de modulation à court terme de 50% environ (valeur efficace).

3.3.1 *Rapports de protection RF dans le même canal au cours de la période transitoire*

Sachant que pour obtenir une émission BLU équivalente, _____ il faut augmenter de 3 dB la puissance rayonnée de la bande latérale, on réservera donc également une marge de 3 dB pour le rapport de protection dans le même canal lorsqu'on veut conserver la même qualité de réception avec un signal DBL brouillé par un signal BLU. Des expériences effectuées au Japon ont confirmé la nécessité de cette marge. Une façon de réduire cet inconvénient consiste à grouper les émissions BLU.

3.3.2 *Rapports de protection RF relatifs au cours de la période transitoire*

- On suppose en premier lieu qu'un signal DBL utile est reçu au moyen d'un récepteur DBL classique à détection d'enveloppe et qu'il est brouillé par une émission BLU de puissance équivalente dans la bande latérale.

Le rapport de protection RF, si le signal utile en DBL se trouve dans le canal adjacent inférieur ($\Delta f = -5$ kHz, par exemple), sera dégradé de 1 dB alors que si, toutes choses égales d'ailleurs, le signal se trouvait dans le canal adjacent supérieur ($\Delta f = +5$ kHz), la dégradation subie serait d'environ 4 dB, relativement aux rapports de protection RF actuels que spécifie la Recommandation 560.

Toutefois, en décalant légèrement l'accord du récepteur, on peut arriver à une dégradation de 2,5 dB de part et d'autre.

- Dans le cas d'un signal BLU utile brouillé par un signal DBL, les résultats obtenus coïncident pratiquement avec les valeurs que spécifie la Recommandation 560 (courbe D). Dans ce cas, la réception du signal BLU utile ne se dégradera pas au cours de la période transitoire.
- Dans le cas d'un signal utile BLU brouillé par un signal BLU, les résultats sont les mêmes que si le signal utile était en DBL car de toute façon le récepteur est le même et les puissances des bandes latérales sont équivalentes. Par conséquent, on observera dans ce cas la même dégradation que si un signal DBL était brouillé par un signal BLU.

Il ressort de ce qui précède qu'au cours d'une période transitoire quelconque, les rapports de protection pour $\Delta f = \pm 5$ kHz sont dégradés de 2,5 dB environ, que la BLU brouille de la BLU ou de la DBL. Si de la BLU est brouillée par de la DBL, il lui faut la même protection que pour de la DBL brouillée par de la DBL.

On peut espérer qu'au cours de la période transitoire, apparaîtront de nouveaux récepteurs BLU qui conviendront aussi à la réception des signaux DBL et la feront profiter de leurs avantages (par exemple, réduction de la distorsion harmonique due à l'évanouissement sélectif, meilleure sélectivité et largeur de bande AF supérieure).

3.4 *Rapports de protection en radiofréquence à l'issue de la période transitoire pour les émissions BLU à porteuse réduite*

Conformément aux caractéristiques techniques proposées pour le futur système BLU, la porteuse est réduite de 12 dB tandis que toutes les hypothèses faites au § 3.3 quant aux émetteurs sont maintenues. Les signaux utiles et brouilleurs sont tous deux en BLU.

La Fig. 7 présente plusieurs rapports de protection RF calculés dans les conditions ci-dessus pour plusieurs récepteurs BLU ayant des largeurs de bande et des pentes d'affaiblissement diverses.

La Fig. 7 donne les rapports de protection RF relatifs A_{rel} en fonction de la différence de fréquence Δf entre les porteuses utiles f_u et brouilleuse f_b :

$$\Delta f = f_u - f_b$$

Si Δf est négatif, le brouillage provient du canal adjacent supérieur.

La courbe ① s'applique à un récepteur BLU dont la courbe de réponse en fréquence correspond à celle du récepteur de référence de l'UER ($B_R = 4$ kHz); le décalage d'accord, qui est à présent obligatoire, donne au récepteur une bande passante AF effective de 4 kHz. La réception dans le canal adjacent inférieur pour $\Delta f = -5$ kHz est dégradée de 7 dB environ, alors que celle dans le canal adjacent supérieur s'améliore de presque 17 dB.

Si à l'issue de la période transitoire, on emploie un récepteur qui a la sélectivité aux limites du récepteur de référence de l'UER, ce récepteur ne diminuera en rien le rapport de protection RF relatif actuel dans le canal adjacent inférieur (Recommandation 560) et sa largeur de bande AF pourrait atteindre 3 kHz (Fig. 7, courbe ②), ce qui représente un élargissement de 50% par rapport aux 2 kHz actuels.

Il serait toutefois nettement préférable de profiter de la nécessité d'introduire les récepteurs BLU pour améliorer leur sélectivité. On améliorerait considérablement le rapport de protection relatif à l'aide d'un filtre FI céramique de sélectivité aux limites d'environ 35 dB/kHz. Les rapports de protection correspondants pour des récepteurs ayant des bandes passantes de 4,4, 3,7 ou 3 kHz sont donnés, respectivement, par les courbes ③, ④ et ⑤ de la Fig. 7. Pour une largeur de bande de 4,4 kHz, la protection s'améliorerait de 7 dB environ vis-à-vis du canal adjacent inférieur et de plus de 40 dB vis-à-vis du canal adjacent supérieur. On voit que l'on peut obtenir un récepteur de 3,8 kHz de largeur de bande et un rapport de protection d'au moins 27 dB pour les deux canaux adjacents. Cet exemple démontre clairement le grand avantage qu'il y a à améliorer la sélectivité aux limites du récepteur.

3.5 *Conclusions*

Le Tableau III présente le bilan de la mise en œuvre des émissions BLU avec porteuse réduite de 6 dB au cours de la période transitoire et de 12 dB au stade final. On suppose que les récepteurs utilisés pendant la période transitoire ont une courbe de réponse en fréquence identique à celle du récepteur de référence de l'UER et que le récepteur BLU comprend un filtre FI céramique ou mécanique d'environ 4 kHz de largeur de bande et une pente d'affaiblissement de 35 dB/kHz.

Si on adapte un émetteur DBL existant à l'exploitation en BLU, on aura, dans la bande latérale, une puissance inférieure à la puissance équivalente de bande latérale. Il en résultera un rapport signal/brouillage AF d'environ 3 dB inférieur à celui qu'on avait en DBL.

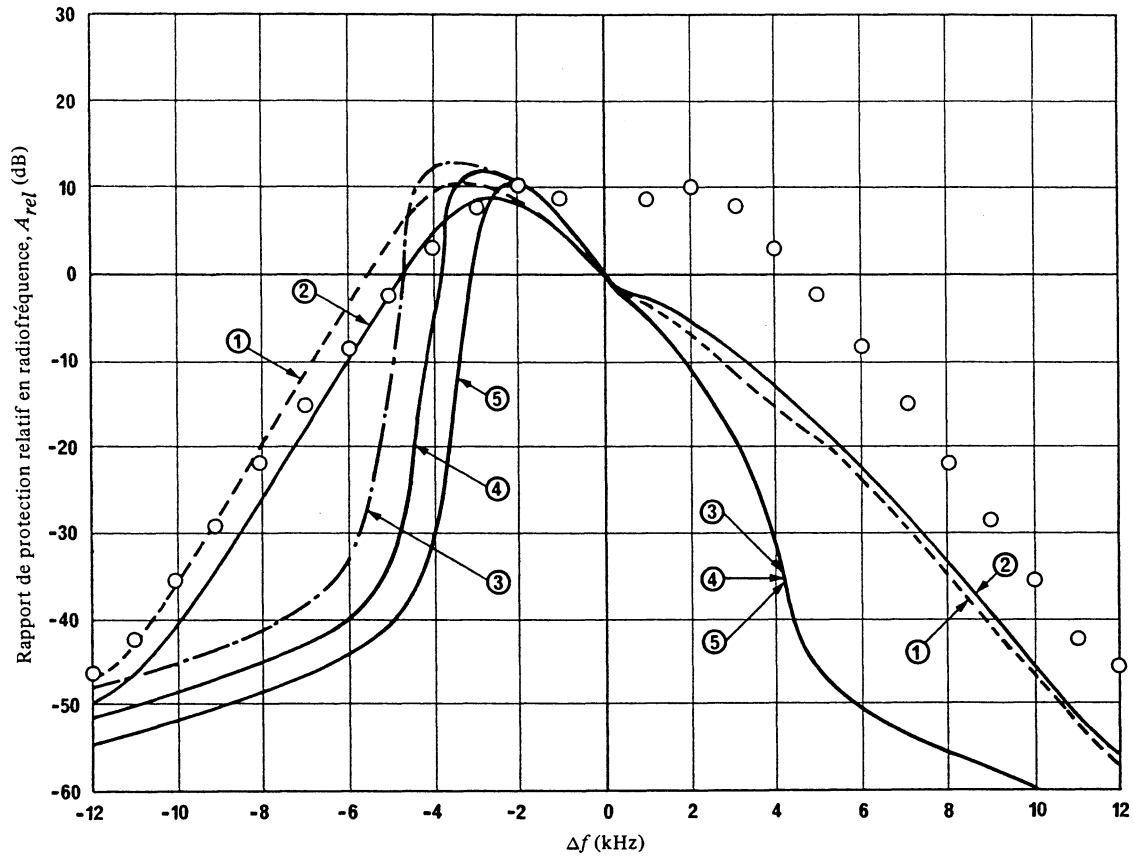


FIGURE 7 – Rapports de protection relatifs à l'issue de la période de transition

Signal utile: *BLU*; signal brouilleur: *BLU*

Récepteur:

- ① UER $B_R = 4$ kHz; pente de 8 dB/kHz
 - ② UER* $B_R = 3$ kHz; pente de 8 dB/kHz
 - ③ filtre céramique $B_R = 4,4$ kHz; pente de 35 dB/kHz
 - ④ filtre céramique $B_R = 3,7$ kHz; pente de 35 dB/kHz
 - ⑤ filtre céramique $B_R = 3,0$ kHz; pente de 35 dB/kHz
 - ○ ○ Valeurs tirées de la Recommandation 560 (Courbe D)
- $\Delta f = f_u - f_b$ B_R : largeur de bande du récepteur
 f_b coïncide toujours avec $\Delta f = 0$

* Décalé de 1 kHz.

TABLEAU III – Résumé des conséquences de l'introduction d'émissions BLU avec porteuse réduite de 6 dB au cours de la période transitoire et de 12 dB ensuite

	Système transitoire		Système final
Réduction de la porteuse émise	6 dB		12 dB
Puissance totale de l'émetteur	pour une porteuse fixe: davantage de puissance pour une porteuse flottante: moins de puissance (comparable au système final)		moins de puissance
Coût de l'émetteur (investissement)	plus cher qu'un émetteur DBL classique		moins qu'en DBL
Coût d'exploitation de l'émetteur	plus cher que la DBL classique		moins qu'en DBL
Largeur de bande émise	DBL: $\pm 4,5$ kHz/BLU: +4,5 kHz		BLU: +4,5 kHz
Caractéristiques de sélectivité du récepteur	DBL: UER	BLU: filtre céramique	BLU: filtre céramique
Largeur de bande AF du récepteur	2 kHz	3,7-4 kHz	3,7-4 kHz
Largeur de bande RF du récepteur	4 kHz	3,7-4 kHz	3,7-4 kHz
Pente du filtre FI	8 dB/kHz	35 dB/kHz	35 dB/kHz
Prix du récepteur	sans changement	plus cher initialement	moins cher qu'au cours de la période transitoire
Espacement entre canaux	10 kHz		5 kHz
Utilisation du spectre	pas d'économie; rendement un peu moins bon		jusqu'à 2 fois plus d'émissions
Rapport de protection relatif dans le canal adjacent	dégradé de 2,5 dB	meilleure	amélioré d'environ 25 dB
Qualité	légèrement moins bonne	meilleure	meilleure

4. Valeurs relatives du rapport de protection RF

La CAMR HFBC-87 a envisagé l'utilisation des valeurs relatives suivantes du rapport de protection RF.

TABLEAU IV

Valeurs du rapport de protection relatif en radiofréquence par rapport au rapport de protection en radiofréquence dans le même canal pour des signaux DBL utile et brouilleur (en dB)¹ applicables aux bandes d'ondes décimétriques attribuées en exclusivité au service de radiodiffusion

	Signal utile	Signal brouilleur	Séparation f brouilleur – f utile de la fréquence porteuse, Δf , (kHz)								
			-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20
1	Double bande latérale (DBL)	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 6 dB par rapport à la puissance en crête)	-51	-46	-32	+1	3	-2	-32	-46	-51
2	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 6 dB par rapport à la puissance en crête)	Double bande latérale (DBL)	-54	-49	-35	-3	0	-3	-35	-49	-54
3	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 6 dB par rapport à la puissance en crête)	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 6 dB par rapport à la puissance en crête)	-51	-46	-32	+1	0	-2	-32	-46	-51
4	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 12 dB par rapport à la puissance en crête)	Bande latérale unique (BLU) (affaiblissement de la porteuse = 12 dB par rapport à la puissance en crête)	-57	-57	-57	-45	0	-20	-47	-52	-57

¹ Il n'est pas nécessaire de tenir compte des écarts entre fréquences Δf inférieures à -20 kHz et Δf supérieures à 20 kHz.

Les valeurs relatives du rapport de protection en radiofréquence indiquées dans le Tableau IV doivent être utilisées chaque fois que des émissions BLU conformes aux spécifications de l'Appendice 45 au Règlement des radiocommunications, interviennent dans l'utilisation des bandes d'ondes décimétriques attribuées en exclusivité au service de radiodiffusion.

Les valeurs indiquées se réfèrent au cas des signaux brouilleur et utile en DBL dans le même canal pour la même qualité de réception.

Pour la réception des signaux utiles en DBL et en BLU (réduction de porteuse de 6 dB par rapport à la puissance de crête) on suppose qu'il s'agit d'un récepteur classique DBL avec détection d'enveloppe conçu pour un espacement de canaux de 10 kHz.

Pour la réception d'un signal utile en BLU (réduction de la porteuse de 12 dB par rapport à la puissance de crête), on suppose qu'il s'agit d'un récepteur de référence tel que spécifié dans la section 3, partie B de la l'Appendice 45 au Règlement des radiocommunications.

Pour les signaux en BLU avec une réduction de porteuse de 6 dB par rapport à la puissance de crête, on suppose une puissance équivalente de bande latérale telle que spécifiée dans la section 1.2, partie B de l'Appendice 45 au Règlement des radiocommunications.

Les valeurs correspondant au cas 2 dans le Tableau IV ci-dessus concernent une situation dans laquelle la fréquence centrale de la bande passante aux fréquences intermédiaires du récepteur DBL est réglée sur la fréquence porteuse du signal utile en BLU. Si tel n'est pas le cas, la valeur pour un écart de +5 kHz peut passer à -1 dB.

5. Technique d'émission

5.1 Emetteurs DBL

Les émetteurs DBL modernes de grande puissance continuent d'utiliser un tube électronique dans l'étage amplificateur final pour produire la puissance radiofréquence. La modulation d'amplitude est obtenue au moyen d'un modulateur numérique qui module la tension anodique par une modulation d'impulsions en durée ou une modulation par niveaux d'impulsions. Cette méthode de couplage en continu permet à l'émetteur de fonctionner avec un niveau de porteuse dynamique ou de générer des signaux BLU avec un amplificateur de puissance radiofréquence de classe C.

Les émetteurs DBL modernes dont la puissance est comprise entre 100 et 500 kW ont en général un rendement compris entre 65 et 75% et un taux de modulation de 100%. Ces valeurs ne diminuent que de quelques % lorsqu'on abaisse le taux de modulation.

5.2 Emetteurs BLU

Dans les émetteurs modernes, les signaux BLU peuvent être produits de l'une des façons suivantes:

- a) production de signaux BLU de faible puissance puis amplification linéaire de classe AB ou B;
- b) production de signaux BLU de faible puissance puis séparation de l'information d'amplitude et de l'information de phase. L'information d'amplitude est modulée en amplitude par un modulateur anodique (voir le § 5.1). La source de fréquence de l'émetteur est modulée en phase par l'information de phase obtenue. Le signal composite à la sortie de l'émetteur est analogue au signal BLU. On appelle cette méthode la méthode Kahn.

Avec la première méthode, le rendement total de l'émetteur se situe aux environs de 40% avec une puissance en crête totale, c'est-à-dire un taux de modulation de 100%, si l'on utilise d'autres circuits d'économie d'énergie. Pour un taux de modulation de 100%, on obtient avec la deuxième méthode un rendement de 65 à 75%, qui est analogue à la valeur de la DBL. Lorsque le niveau moyen de modulation est de 40% et que la réduction de la porteuse est de -12 dB, le rendement total obtenu avec la méthode Kahn diminue de 10%, d'où un rendement de 55 à 65%. Cela tient au fait que la puissance RF moyenne à la sortie diminue, alors que les caractéristiques de puissance à l'entrée de l'émetteur (dispositifs de refroidissement, de réchauffement, etc.) demeurent inchangées.

La puissance en crête maximale que l'on peut obtenir avec un émetteur BLU est inférieure à celle d'un émetteur DBL lorsque les émetteurs sont conçus pour fonctionner en mode DBL et en mode BLU. Si l'on utilise la méthode d'amplification linéaire, la puissance en crête est de 0,25 fois la valeur de la DBL. La puissance en crête obtenue avec la méthode Kahn est de 0,5 à 0,75 fois celle de la DBL.

Si la puissance en crête est constante, le passage du niveau de la porteuse de -6 dB à -12 dB permet d'augmenter la puissance de la bande latérale utile de 3,5 dB.



5.3 Possibilités de conversion en BLU des émetteurs DBL existants

Presque tous les émetteurs DBL utilisent la modulation par l'anode à l'aide d'un transformateur et d'une bobine d'arrêt de modulation. Le modulateur par l'anode est couplé en continu à l'étage radiofréquence final et en conséquence, on ne peut utiliser que l'amplification linéaire de la production de signaux BLU. Les modifications qui en résultent sont très importantes. La puissance en crête de la BLU obtenue ne peut dépasser la puissance de la porteuse DBL initiale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GRÖSCHEL, G. [juin 1978] Modèle mathématique pour le calcul des brouillages par canal adjacent en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à une ou deux bandes latérales. *Rev. de l'UER (Technique)*, **169**, 122-136.

THIESSEN, P. [août 1973] Dégradation de la qualité d'une transmission à bande latérale unique par décalage de fréquence et distorsion non linéaires. *Rev. de l'UER (Technique)*, **140**, 179-187.

Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10/41 et b. 10/11. (Allemagne (République fédérale d')).

[1982-86]: a. 10/7 (Japon).
